



(11) **EP 3 720 716 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**22.09.2021 Patentblatt 2021/38**

(51) Int Cl.:  
**B41F 23/04<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **18815146.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2018/083303**

(22) Anmeldetag: **03.12.2018**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2019/110484 (13.06.2019 Gazette 2019/24)**

(54) **VERFAHREN ZUM TROCKNEN EINES SUBSTRATS, TROCKNERMODUL ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS SOWIE TROCKNERSYSTEM**

METHOD FOR DRYING A SUBSTRATE, DRYER MODULE FOR CARRYING OUT THE METHOD AND DRYER SYSTEM

PROCÉDÉ POUR LE SÉCHAGE D'UN SUBSTRAT, MODULE DE SÉCHAGE POUR LA MISE EN OEUVRE DU PROCÉDÉ AINSI QUE SYSTÈME DE SÉCHAGE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

- **TITTMANN, Michael**  
**63450 Hanau (DE)**
- **KRAFFT, Vincent**  
**63450 Hanau (DE)**
- **VON RIEWEL, Larisa**  
**63450 Hanau (DE)**

(30) Priorität: **06.12.2017 DE 102017129017**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**14.10.2020 Patentblatt 2020/42**

(74) Vertreter: **Staudt, Armin Walter**  
**Sandeldamm 24a**  
**63450 Hanau (DE)**

(73) Patentinhaber: **Heraeus Noblelight GmbH**  
**63450 Hanau (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 3 363 635 DE-A1-102010 046 756**

(72) Erfinder:  
• **GRAZIEL, Bernhard**  
**63450 Hanau (DE)**

**EP 3 720 716 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**Stand der TechnikTechnischer Hintergrund

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum mindestens teilweisen Trocknen eines Substrats, umfassend die Verfahrensschritte

(a) Emittieren von Infrarotstrahlung in Richtung auf ein durch einen Prozessraum entlang eines Transportwegs und in einer Transportrichtung bewegten Substrats mittels einer Strahlereinheit, die mindestens einen Infrarotstrahler umfasst,

(b) Erzeugen mindestens zweier auf das Substrat gerichteter Prozessgasströmungen eines Prozessgases,

(c) mindestens teilweises Trocknen des Substrats durch Einwirkung von Infrarotstrahlung und Prozessgas auf das Substrat, und Absaugen von feuchtebeladenem Prozessgas über einen Absaugkanal aus dem Prozessraum unter Bildung einer von dem Substrat wegführenden Abluftströmung.

**[0002]** Außerdem betrifft die Erfindung ein Infrarot-Trocknermodul zum Trocknen eines in einer Substratebene und in einer Transportrichtung durch einen Prozessraum bewegten Substrats, umfassend

(a) eine Strahlereinheit, die mindestens einen eine Längsachse aufweisenden Infrarotstrahler zur Emission von Infrarotstrahlung auf die Substratebene umfasst,

(b) eine Prozessgas-Zuführungseinheit mit einem Prozessgas-Sammelraum, der mindestens eine Einlassöffnung für die Einleitung von Prozessgas aus dem Prozessgas-Sammelraum in den Prozessraum aufweist, wobei an die Einlassöffnung ein Gasleitelement angrenzt, das sich in Richtung der Substratebene erstreckt,

(c) eine Ablufteinheit mit mindestens einem Absaugkanal für die Ableitung von feuchtebeladenem Prozessgas aus dem Prozessraum

**[0003]** Darüber hinaus geht es bei der Erfindung um ein Trocknersystem zum Trocknen eines in einer Substratebene und in einer Transportrichtung durch einen Prozessraum bewegten Substrats.

**[0004]** Derartige Trocknersysteme, Trocknermodule und Trocknungsverfahren werden beispielsweise für die Trocknung von Tinten, Farben, Lacken, Klebern oder anderen lösungsmittelhaltigen Schichten, und insbesondere zur Trocknung von Papier und Pappe und Produkten hieraus sowie von Druckerzeugnissen eingesetzt.

**[0005]** Zum Bedrucken bogenförmiger oder bahnförmiger Bedruckstoffe aus Papier, Pappe, Folie oder Karton mit Druckfarben sind Offset-Druckmaschinen, lithographische Druckmaschinen, Rotationsdruckmaschinen oder Flexo-Druckmaschinen gebräuchlich. Typische Inhaltsstoffe von Druckfarben und -tinten sind Öle, Harze, Wasser und Bindemittel. Bei lösungsmittelhaltigen und vor allem wasserhaltigen Druckfarben und Lacken ist ein Trocknen erforderlich, das sowohl auf physikalischen als auch auf chemischen Trocknungsprozessen beruhen kann. Physikalische Trocknungsprozesse umfassen das Verdunsten von Lösungsmitteln (insbesondere von Wasser) und deren Diffusion in den Bedruckstoff, was auch als "Wegschlagen" bezeichnet wird. Unter chemischer Trocknung wird die Oxidation beziehungsweise Polymerisation von Druckfarben-Inhaltsstoffen verstanden. Zwischen physikalischer und chemischer Trocknung gibt es Übergänge. So kann beispielsweise das Wegschlagen der Lösungsmittel eine Annäherung monomerer Harzmoleküle bewirken, so dass diese gegebenenfalls einfacher polymerisieren. Trocknungsvorrichtungen zum Trocknen des bedruckten Bedruckstoffs dienen somit zum Entfernen von Lösungsmittel und/oder zum Auslösen von Vernetzungsreaktionen.

**[0006]** Übliche IR-Trocknersysteme weisen neben Infrarotstrahlern weitere Funktionsbausteine wie Kühlung, Zuluft und Abluft auf, die in einem Luftmanagement-System in unterschiedlicher Ausprägung miteinander verknüpft und geregelt werden. So beschreibt beispielsweise die DE 10 2010 046 756 A1 ein Trocknermodul und ein aus mehreren Trocknermodulen zusammengesetztes Trocknersystem für Druckmaschinen zum Bedrucken von Bogen- oder Rollenmaterial.

**[0007]** Das Trocknersystem besteht aus mehreren quer zur Transportrichtung angeordneten Trocknermodulen, von denen jedes einen auf den zu trocknenden Bedruckstoff ausgerichteten langgestreckten Infrarotstrahler aufweist, dessen Längsachse senkrecht zur Transportrichtung des Bedruckstoffs verläuft. Mittels eines regelbaren Lüftungssystems wird eine Luftströmung erzeugt, die auf den Infrarotstrahler und auf den Bedruckstoff einwirkt. Der Infrarotstrahler ist innerhalb eines Prozessraums für den Bedruckstoff angeordnet. Die Zuluft wird einem Zuluftsammelraum zugeführt und darin mittels einer Heizeinrichtung erwärmt. Außerdem wird mittels eines Ventilators die vom Infrarotstrahler erwärmte Luft abgeführt, der erwärmten Zuluft hinzugefügt und der Infrarotstrahler dadurch gekühlt.

**[0008]** Aus dem Zuluftsammelraum gelangt die erwärmte Zuluft über Gasaustrittsdüsen in Form von Schlitzdüsen in den Prozessraum. Die Gasaustrittsdüsen sind beidseitig des Infrarotstrahler angeordnet, wobei die in Transportrichtung für den Bedruckstoff vordere Schlitzdüse schräg zur Bedruckstoffebene mit einer Orientierung entgegen der Transportrichtung, und die in Transportrichtung hintere Schlitzdüse ebenfalls schräg

zur Bedruckstoffebene mit einer Orientierung in Transportrichtung verlaufen. Der Grad der Schrägstellung der Schlitzdüsen ist motorisch veränderbar.

**[0009]** Aus dem Prozessraum wird die mit Feuchtigkeit beladene Zuluft als Abluft über einen Ansaugkanal abgeführt und teilweise einem Wärmetauscher zugeführt, und ein anderer Teil dem Zuluftsammelraum hinzugefügt.

**[0010]** Die gemäß Art. 54(3) zum Stand der Technik gehörende EP 3 363 635 A1 beschreibt ein Verfahren zum Trocknen eines Substrats mit den Verfahrensschritten: Emittieren von Infrarotstrahlung auf ein durch einen Prozessraum bewegtes Substrat mittels einer Strahlereinheit, die einen Infrarotstrahler umfasst; Erzeugen zweier auf das Substrat gerichteter Prozessgasströmungen eines Prozessgases; Trocknen des Substrats durch Einwirkung von Infrarotstrahlung und Prozessgas auf das Substrat; und Absaugen von feuchtebeladenem Prozessgas über einen Absaugkanal aus dem Prozessraum unter Bildung einer von dem Substrat wegführenden Abluftströmung. Die zwei Prozessgasströmungen werden über Ableitbleche seitlich am Infrarotstrahler vorbei geführt, bevor sie auf das Substrat einwirken.

#### Technische Aufgabenstellung

**[0011]** Bei dem bekannten Trocknermodul wird das Prozessgas mittels einer eigens dafür vorgesehenen Heizeinrichtung erwärmt. Das erwärmte Prozessgas tritt über die Schlitzdüsen in Richtung auf den Bedruckstoff als erwärmte Luftströmung aus und wirkt dabei auf den zu trocknenden Bedruckstoff lokal und ansonsten mehr oder weniger undefiniert solange ein, bis sie als mit Feuchtigkeit beladene Luft an anderer Stelle wieder abgesaugt wird. Die Effektivität der Trocknungsluft hinsichtlich des Feuchteabtransports von der Substrat-Oberfläche ist daher nicht exakt reproduzierbar. Schlitzdüsen sind konstruktiv relativ aufwändig.

**[0012]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Trocknungsverfahren anzugeben, das reproduzierbar und effektiv ist und insbesondere hinsichtlich Homogenität und Schnelligkeit der Trocknung des Substrats zu einem verbesserten Ergebnis führt.

**[0013]** Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein energieeffizientes IR-Trocknermodul und ein Trocknersystem bereitzustellen, die insbesondere für die Trocknung lösungsmittelhaltiger und insbesondere wasserbasierter Druckfarbe hinsichtlich Homogenität und Schnelligkeit der Trocknung verbessert sind.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0014]** Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die mindestens zwei Prozessgasströmungen an den Infrarotstrahler geführt werden, bevor sie auf das Substrat einwirken, und dass jeder auf das Substrat gerichteten

Prozessgasströmung eine vom Substrat wegführende Abluftströmung räumlich zugeordnet und benachbart ist.

**[0015]** Die mindestens zwei Prozessgasströmungen werden an den Infrarotstrahler geführt, bevor sie auf das Substrat einwirken.

- Das Prozessgas ist im einfachsten Fall Luft. Es dient in erster Linie dazu, Feuchtigkeit vom Substrat abzuführen. Zu diesem Zweck wird das Prozessgas erwärmt, bevor es auf das Substrat einwirkt. Im Unterschied zum gattungsgemäßen Verfahren werden die beiden Prozessgasströmungen dadurch erwärmt, dass sie auf den heißen Infrarotstrahler und auf etwaige heiße Gasleitelemente in dessen unmittelbarer Umgebung auftreffen. Dazu werden die Prozessgasströmungen an den Infrarotstrahler geführt, so dass sie den Strahler mindestens teilweise umströmen. Gleichzeitig kühlen sie dabei den Infrarotstrahler und etwaige Gasleitelemente in der Umgebung. Durch das Aufwärmen des Prozessgases kann es eine größere Feuchtigkeitsmenge aufnehmen.

**[0016]** Bei dem mindestens einen Infrarotstrahler handelt es sich beispielsweise um einen rohrförmigen Strahler mit einem langgesteckten oder einem U-förmig oder ringförmig gebogenen Strahlerrohr oder um einen plattenförmigen, kachelförmigen Strahler. Er kann einen Reflektor und ein Gehäuse umfassen. Das Aufwärmen des Prozessgases durch Anströmen des Infrarotstrahlers geschieht bei diesen Infrarotstrahler-Ausführungsformen beispielsweise dadurch, dass das Prozessgas das Strahlerrohr an seinen Längsseiten umströmt, oder indem es auf die Planseiten eines plattenförmigen Infrarotstrahlers auftrifft und seitlich oder über Öffnungen in der Strahlerplatte in Richtung auf den Prozessraum weitergeleitet wird.

- Derartige Infrarotstrahler haben beispielsweise eine Emissionswellenlänge im Bereich von etwa 1000 bis 2750 nm und müssen in der Regel - insbesondere in engen Bauräumen, wie sie beispielsweise für Druckmaschinen typisch sind - aktiv gekühlt werden, um sie vor Überhitzung zu schützen. Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird das auf den Infrarotstrahler gelangende Prozessgas erwärmt, und es kühlt dabei gleichzeitig den Infrarotstrahler. Somit dient das Kühlgas für den Infrarotstrahler nach seiner Erwärmung gleichzeitig als erwärmtes Prozessgas für den Trocknungsprozess. Auf eine zusätzliche Erwärmung des Prozessgases kann verzichtet werden, oder die zusätzliche Erwärmung des Prozessgases kann mit weniger Energieeinsatz erfolgen als dies ohne die zusätzliche Erwärmung durch den ohnehin zu kühlenden Infrarotstrahler der Fall wäre. Dadurch ergibt sich eine effiziente Energienutzung.

**[0017]** Jeder auf das Substrat gerichteten Prozessgasströmung ist eine vom Substrat wegführende Abluftströmung räumlich zugeordnet.

- Das erwärmte Prozessgas wird in den Prozessraum als gerichtete und erwärmte Prozessgasströmung eingeleitet. Die Prozessgasströmung ist nicht diffus, sondern sie hat eine Hauptausbreitungsrichtung, in der sie je nach Volumen des Prozessgases und der Strömungsgeschwindigkeit auf die Substrat-Oberfläche vordringt und darauf in einem voreingestellten Winkel auftrifft und dort trocknend auf das beschichtete Substrat einwirkt. Das Einwirken bedeutet hier, dass die Prozessgasströmung die Schicht trocknet, beispielsweise indem Lösungsmittel aus der Schicht in die Gasphase aufgenommen und im Bereich der Substrat-Oberfläche Gasverwirbelungen erzeugt werden.
- Das mit Feuchtigkeit beladene Prozessgas und andere aus dem Substrat austretende gasförmige Komponenten werden als Abluft aus dem Prozessraum ganz oder teilweise abgeführt. Die gerichtete Strömung der Abluft wird durch das Absaugen über einen Absaugkanal erzeugt, so dass auch die Abluftströmung - so wie die Prozessgasströmung - eine Hauptausbreitungsrichtung hat. Die Richtung der Abluftströmung wird maßgeblich durch die Position und Ausrichtung des Absaugkanals in Bezug zur Substrat-Oberfläche bestimmt und als gedachte Verlängerung des Absaugkanals auf die Substrat-Oberfläche definiert.
- Die räumliche Zuordnung der Prozessgasströmungen und der Abluftströmung ergibt sich dadurch, dass jeder der mindestens zwei auf die Substrat-Oberfläche auftreffenden Prozessgasströmungen mindestens eine Abluftströmung benachbart ist, oder besser: wenn jede der mindestens zwei Prozessgasströmungen auf der Substrat-Oberfläche mit einer Abluftströmung zusammentrifft.
- Die räumliche Zuordnung bewirkt auf der Substrat-Oberfläche eine Interaktion der jeweiligen Gasströmungen miteinander. Die Interaktion der jeweiligen Gasströmungen wird somit einerseits dadurch bewirkt, dass sich die Strömungsrichtungen von erwärmtem Prozessgas und von feuchtebeladener Abluft unterscheiden, und andererseits dadurch, dass sie infolge der erläuterten räumlichen Zuordnung zwangsläufig aufeinandertreffen. Die dadurch erzwungene Wechselwirkung zwischen Prozessgasströmung und Abluftströmung führt zu einer Gasverwirbelung in unmittelbarer Nähe zur Substrat-Oberfläche. Diese Gasverwirbelung kann eine Störung, Verkleinerung oder sogar Ablösung der fluid-dynamischen laminaren Strömungsgrenzschicht bewirken und damit einhergehend eine Verbesse-

rung des Stofftransports und insbesondere der Abführung von Feuchtigkeit aus dem Substrat bewirken.

- 5 **[0018]** Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird aufgrund dieser Maßnahmen eine schnelle und effektive Trocknung des Substrats bei gleichzeitig möglichst geringem Energieverbrauch erreicht. Zudem ist durch Steuerung der Volumina an Prozessgas und Abluft der Grad der Gasverwirbelung beherrschbar und damit auch die Effektivität der Trocknung reproduzierbar einzustellen.
- 10 **[0019]** Zur Unterstützung der Ausbildung von Gasverwirbelungen schließen die Hauptausbreitungsrichtungen von Prozessgas und Abluft im bevorzugten Fall einen Winkel von weniger als 90 Grad ein, und im besonders bevorzugten Fall sind sie gegenläufig gerichtet.
- 15 **[0020]** Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, einen eine Längsachse aufweisenden Infrarotstrahler einzusetzen, wobei der Infrarotstrahler beidseitig seiner Längsachse von je einer der beiden Prozessgasströmungen ange-
- 20 strömt wird.
- [0021]** Der Infrarotstrahler ist dabei - vorzugsweise mittig - in einer oder unterhalb einer schlitzförmigen Einlassöffnung einer den Prozessraum begrenzenden Wandung angeordnet, so dass er mit der Wandung einen
- 25 Längsspalt oder bevorzugt zwei gleich breite Längsspalte bildet, aus denen das Prozessgas entlang der beiden Längsseiten des Infrarotstrahlers in Richtung auf die Substrat-Oberfläche austritt. Die schlitzförmige Einlass-
- 30 öffnung ist beispielsweise als durchgehender Spalt ausgeführt oder als Aneinanderreihung einer Vielzahl von Einzelöffnungen.
- [0022]** Der Infrarotstrahler trägt somit zur Erzeugung der beiden Prozessgasströmungen bei und er wird
- 35 gleichzeitig von den Prozessgasströmungen angeströmt. Jede der dabei erzeugten Prozessgasströmungen wirkt in einem streifenförmigen Oberflächenbereich auf das zu trocknende Substrat ein. Gegebenenfalls sind auch die jeweils zugeordneten Absaugströmungen je-
- 40 weils bevorzugt streifenförmig ausgebildet.
- [0023]** Im Folgenden werden bevorzugte Verfahrensweisen des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert, bei denen die zum Zweck einer flächigen Infrarot-Bestrahlung des Substrats eingesetzte Strahlereinheit eine
- 45 Vielzahl von Infrarotstrahlern umfasst, die jeweils parallel zueinander verlaufende Längsachsen aufweisen.
- [0024]** Bei einer besonders effektiven Ausführungsform dieser Verfahrensweise wird um jede der Infrarotstrahler-Längsseiten eine auf das Substrat gerichtete
- 50 Prozessgasströmung geführt, wobei benachbarte Prozessgasströmungen benachbarter Infrarotstrahler einer gemeinsamen Abluftströmung räumlich zugeordnet sind.
- [0025]** Bei dieser Verfahrensvariante verläuft eine Abluftströmung jeweils zwischen zwei Prozessgasströmungen, von denen eine dem einen Infrarotstrahler und die andere dem benachbarten Infrarotstrahler zuzuordnen ist. In Richtung der Infrarotstrahler-Längsachse gese-
- 55

hen, ergibt sich zwischen den beiden benachbarten Infrarotstrahlern die Strömungsabfolge: Prozessgasströmung, Abluftströmung, Prozessgasströmung. Die dabei beteiligten Prozessgasströmungen interagieren (wechselwirken) mit der gemeinsamen Abluftströmung und die können vorzugsweise auch miteinander interagieren, und zwar auf einem gemeinsamen streifenförmigen Bereich der Substrat-Oberfläche.

**[0026]** Durch die Wechselwirkungen (Interaktionen) der Strömungen miteinander wird in dem gemeinsamen streifenförmigen Bereich der Substrat-Oberfläche eine besonders intensive Gasverwirbelung erzeugt, die die laminare Strömungsgrenzschicht an der Substrat-Oberfläche besonders effektiv stört, verkleinert oder ablöst, so dass ein schnelles Trocknen erreicht wird. Die gemeinsame Nutzung einer Abluftströmung von zwei benachbarten Prozessgasströmungen ermöglicht eine räumlich enge Anordnung der Infrarotstrahler des Strahlerfeldes und damit ein effektives Trocknen bei gleichzeitig kompakter Bauweise.

**[0027]** Die Infrarotstrahler-Längsachsen können senkrecht zur Substrat-Transportrichtung verlaufen und sich dabei beispielsweise über die gesamte Substrat-Breite erstrecken. Bei einigen Anwendungen, beispielsweise bei Druckmaschinen, ist es jedoch gewünscht, dass ein und dieselbe Vorrichtung für die Behandlung von Substraten unterschiedlicher Breite einsetzbar ist. Gegebenenfalls ist Infrarotstrahlung nur über die sogenannte "Formatbreite" erforderlich, die kleiner sein kann, als die gesamte mit Infrarotstrahlern bestückte Ausstattungsbreite der Vorrichtung. Insbesondere im Hinblick darauf hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Infrarotstrahler-Längsachsen in Substrat-Transportrichtung verlaufen oder mit der Substrat-Transportrichtung einen Winkel von weniger als 30 Grad einschließen. Dadurch, dass die Infrarotstrahler in Richtung der Substrat-Transportrichtung angeordnet sind, können randständige Infrarotstrahler der Gesamt-Bestückung nach Bedarf einfach abgeschaltet werden. Um in diesem Fall streifenförmige Inhomogenitäten in Substrat-Transportrichtung zu vermeiden, die sich infolge dieser Anordnung bei der Trocknungswirkung auf dem Substrat einstellen können, ist eine leichte Schrägstellung der Infrarotstrahler-Anordnung in Bezug auf die Transportrichtung vorteilhaft, wobei der Schrägstellungswinkel gering ist und vorteilhafterweise weniger als 30 Winkelgrade beträgt.

**[0028]** Eine andere bevorzugte Verfahrensweise zeichnet sich dadurch aus, dass der Prozessraum in einem Infrarot-Trocknermodul ausgebildet ist, das in Transportrichtung des Substrats gesehen eine Kombination folgender Komponenten aufweist: ein vorderes Luftmesser (Air-Knife), einen mit mehreren parallel zueinander angeordneten Infrarotstrahlern bestückten Bestrahlungsraum, eine Lufttauschereinheit mit integrierter Absaugung und ein hinteres Luftmesser.

**[0029]** Diese Komponenten sind Bestandteil eines Trocknermoduls, das wiederum Bestandteil eines Trocknersystems sein kann, in dem mehrere gleiche oder un-

terschiedliche Trocknermodule zusammengefasst sind. Die mittels der einzelnen Komponenten ausgeführten Verfahrensschritte werden im Folgenden erläutert. Der Bestrahlungsraum ist mit einem Strahlerfeld aus Infrarotstrahlern bestückt, und darin findet die oben erläuterte Behandlung des Substrats durch Erwärmung und Trocknung unter Einwirkung von Prozessgas, Absaugung und Infrarotstrahlung statt.

**[0030]** Das vordere Luftmesser erzeugt eine intensive, auf die Substrat-Oberfläche in Transportrichtung gerichtete Luftströmung, die die laminare Strömungsgrenzschicht am Substrat durchbricht, Verwirbelungen erzeugt und dadurch die Verdunstung bereits zu Beginn des Trocknungsprozesses begünstigt.

**[0031]** Beim Einbringen des Substrats in den Prozessraum können unerwünschte Substanzen in den Prozessraum eingeschleppt werden, sowohl über die Gasphase als auch mit dem Substrat, wie beispielsweise Substanzen in gasförmiger oder flüssiger Form, die an den Substrat-Oberflächen anhaften.

**[0032]** Um dem entgegen zu wirken, ist bei einer bevorzugten Modifikation dieser Verfahrensweise dem vorderen Luftmesser in Transportrichtung nachfolgend eine Absaugung vorgesehen.

**[0033]** Über diese optionale Absaugung wird ein Teil der Luft und der Komponenten, die mittels des vorderen Luftmessers von der Substrat-Oberfläche entfernt und in die

**[0034]** Gasphase überführt worden sind, bereits von Anfang an aus dem Prozessraum entfernt.

**[0035]** Beim Austritt des Substrats aus dem Prozessraum können giftige oder aus anderen Gründen unerwünschte Substanzen in gasförmiger und flüssiger Form den Prozessraum ungefiltert und unkontrolliert verlassen, darunter auch solche Substanzen, die an den Oberflächen des Substrats durch Adsorption oder Absorption haften, oder die innerhalb der Strömungsgrenzschicht immobilisiert sind. Es ist vorteilhaft, den unkontrollierten Austrag solcher Substanzen aus dem Prozessraum möglichst zu vermeiden.

**[0036]** Im Hinblick darauf erzeugt das hintere Luftmesser ebenfalls eine intensive, auf die Substrat-Oberfläche gerichtete Luftströmung, die die laminare Strömungsgrenzschicht am Substrat am Prozessende durchbricht. Das dadurch vor dem Luftmesser angestaute Prozessgas wird durch die in Transportrichtung vorgelagerte Lufttauschereinheit mit integrierter Absaugung kontrolliert abgesaugt und kann über die Prozessraum-Absaugung kontrolliert entsorgt werden.

**[0037]** Die Lufttauschereinheit erzeugt mindestens einen auf die Substrat-Oberfläche gerichteten Luftstrahl und sie verfügt über eine Absaugung, mittels der der Luftstrahl unmittelbar nach seiner Einwirkung auf die Substrat-Oberfläche wieder entfernt wird. Die Lufttauschereinheit besteht beispielsweise aus einer Anordnung abwechselnd angeordneter Gaseinlassdüsen und Absaugkanälen, die sich über die gesamte Substratbreite erstreckt. Sie hat die Aufgabe, die infolge der Einwirkung

der Infrarotstrahlung entstandene Feuchtigkeit mittels intensiver Luftverwirbelung mitzunehmen und abzutransportieren. Die unmittelbare Absaugung trägt zu einem geringen Austrag an Verunreinigungen aus dem Trocknermodul bei.

**[0038]** Das hintere Luftmesser schließt somit den Prozessschritt der Trocknung des Substrats innerhalb des betreffenden Trocknermoduls ab.

**[0039]** Das vordere und das hintere Luftmesser übernehmen somit am Eingang und am Ausgang des Trocknermoduls zusätzlich die Funktion von Luftvorhängen und dichten somit das IR-Modul pneumatisch ab. Das Zusammenwirken des Bestrahlungsraums mit den beschriebenen weiteren Komponenten vermindert die Gefahr, dass Verunreinigungen, und insbesondere Wasser, in den Prozessraum eingetragen und aus dem Trocknermodul emittiert werden. Dies ermöglicht einen besonders wasserarmen Prozessraum und verbessert und optimiert den Trocknungseffekt.

**[0040]** Es hat sich auch bewährt, wenn die Volumencharakteristik der Prozessgasströmung in Substrat-Transportrichtung mindestens über eine Teillänge der Infrarotstrahlerlänge zunimmt.

**[0041]** Die Zunahme des Strömungsvolumens erfolgt bevorzugt kontinuierlich durch kontinuierliche Vergrößerung eines offenen Strömungsquerschnitts einer entlang der Infrarotstrahler-Längsachsen verlaufenden Austrittsöffnung für das Prozessgas in den Prozessraum. Dadurch wird es ermöglicht, dass die dynamische Einwirkung des Prozessgases und damit der Grad der Verwirbelungen am Ende des IR-Strahlerfeldes mit dem zunehmenden Grad der Verdunstung im Trocknungsprozess korreliert; das heißt, zu Beginn des Trocknungsprozesses bei noch geringer Erwärmung des Substrats und vergleichsweise geringem Verdunstungsgrad wird weniger Prozessgas zum Trocknen eingesetzt als gegen Ende des Trocknungsprozesses bei noch hoher Erwärmung des Substrats und vergleichsweise hohem Verdunstungsgrad. Dadurch wird ein besonders effizienter und sparsamer Einsatz des Prozessgases ermöglicht.

**[0042]** Vorteilhafterweise umfasst das erfindungsgemäße Verfahren eine Prozessgasmengensteuerung, bei der das in das Trocknermodul eingeleitete Gasvolumen  $V_{in}$  kleiner eingestellt wird als das aus dem Trocknermodul abgesaugte Gasvolumen  $V_{out}$ .

**[0043]** Das vom Prozessraum abgesaugte Gasvolumen ist größer als das in den Prozessraum eingeführte Gasvolumen. Dadurch wird gewährleistet, dass möglichst keine giftigen oder aus anderen Gründen unerwünschte Substanzen aus dem Prozessraum austreten. Das in den Prozessraum eingeführte Gasvolumen umfasst das Volumen an Prozessgas und gegebenenfalls das über die Lufttauschereinheit und das oder die Luftmesser eingebrachten Gasvolumina.

**[0044]** Hinsichtlich des Infrarot-Trocknermoduls wird die eingangs genannte Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Infrarotstrahler in Bezug auf die Einlassöffnung so angeordnet ist, dass er mit dem Gas-

leitelement beiderseits seiner Längsachse jeweils einen Einlasskanal für das Prozessgas bildet, und wobei jedem Prozessgas-Einlasskanal mindestens ein Prozessgas-Absaugkanal benachbart ist.

5 **[0045]** Der Infrarotstrahler ist in Bezug auf die Einlassöffnung so angeordnet, dass er mit dem Gasleitelement beiderseits seiner Längsachse jeweils einen Einlasskanal für das Prozessgas bildet.

- 10 • Bei dem mindestens einen Infrarotstrahler handelt es sich beispielsweise um einen rohrförmigen Strahler mit einem langgesteckten oder einem U-förmig gebogenen Strahlerrohr oder um einen plattenförmigen, kachelförmigen Strahler. Er hat eine Längsachse und er kann einen Reflektor und ein Gehäuse umfassen.

15 **[0046]** Die Einlassöffnung verläuft parallel zur Infrarotstrahler-Längsachse; sie ist beispielsweise als durchgehender Spalt ausgeführt oder als Aneinanderreihung einer Vielzahl von Einzelöffnungen.

20 **[0047]** Der mindestens eine Infrarotstrahler ist in Bezug auf die Prozessgas-Einlassöffnung so angeordnet, dass er von dem aus der Einlassöffnung in den Prozessraum einströmenden Prozessgas direkt angeströmt und umströmt wird. Dabei bildet der Zwischenraum zwischen dem Infrarotstrahler und den Gasleitelementen beiderseits seiner Längsachse jeweils einen Einlasskanal für mindestens zwei Prozessgasströmungen. Der Gasauslass des Prozessgas-Einlasskanals ist senkrecht oder in einem Winkel auf die Substratebene gerichtet.

25 **[0048]** Die Gasleitelemente können zur Führung des aus der Einlassöffnung in die Prozesskammer ausströmenden Prozessgases in Richtung auf den Infrarotstrahler betragen; gegebenenfalls erstrecken sie sich bis nahe an den Infrarotstrahler oder auch darüber hinaus in Richtung auf die Substratebene. Durch Einstellen einer kleinen Spaltweite, also durch einen kleinen Abstand zwischen Infrarotstrahler und Gasleitelementen, ergibt sich ein Düseneffekt, der zu einer Beschleunigung der Prozessgasströmung in Richtung auf die Substratebene beitragen kann.

30 **[0049]** Beim erfindungsgemäßen Trocknermodul werden die Gasleitelemente und der Infrarotstrahler somit vom Prozessgas gekühlt, das dadurch gleichzeitig erwärmt wird. Das Kühlgas für den Infrarotstrahler dient nach seiner Erwärmung als erwärmtes Prozessgas. Auf eine zusätzliche Erwärmung des Prozessgases kann verzichtet werden, oder die zusätzliche Erwärmung des Prozessgases kann mit weniger Energieeinsatz erfolgen als dies ohne die zusätzliche Erwärmung durch den ohnehin zu kühlenden Infrarotstrahler der Fall wäre. Dadurch ergibt sich eine effiziente Energienutzung. Außerdem ist der Infrarotstrahler Bestandteil der Prozessgasführung; er trägt zur Bildung und Führung der Prozessgasströmungen über mindestens eine kleine Teilstrecke bei.

35 **[0050]** Jedem Prozessgas-Einlasskanal ist mindes-

tens ein Prozessgas-Absaugkanal benachbart.

- Das erwärmte Prozessgas gelangt durch den Prozessgas-Einlasskanal als gerichtete und erwärmte Prozessgasströmung in den Prozessraum. Die Prozessgasströmung ist nicht diffus, sondern sie hat eine Hauptausbreitungsrichtung, in der sie je nach Volumen des Prozessgases und der Strömungsgeschwindigkeit auf die Substrat-Oberfläche vordringt und darauf in einem voreingestellten Winkel auftrifft und dort trocknend auf das Substrat einwirkt.

**[0051]** Das mit Feuchtigkeit beladene Prozessgas und andere aus dem Substrat austretende gasförmige Komponenten werden aus dem Prozessraum ganz oder teilweise abgeführt. Die gerichtete Strömung der Abluft wird durch das Absaugen über einen Absaugkanal erzeugt, so dass auch die Abluftströmung - so wie die Prozessgasströmung - eine Hauptausbreitungsrichtung hat. Die Richtung der Strömung wird maßgeblich durch die Position und Ausrichtung des Absaugkanals in Bezug zur Substratebene bestimmt.

**[0052]** Dadurch, dass jedem Einlasskanal ein Absaugkanal benachbart ist, ergibt es sich auch, dass jedem der mindestens zwei auf die Substrat-Oberfläche auftreffenden Prozessgasströmungen mindestens eine Abluftströmung benachbart ist, oder noch besser, dass jede der mindestens zwei Prozessgasströmungen auf der Substrat-Oberfläche mit einer Abluftströmung zusammentrifft. Dadurch wird auf der Substrat-Oberfläche eine Interaktion der jeweiligen Gasströmungen miteinander erzeugt. Die Interaktion der jeweiligen Gasströmungen wird somit einerseits dadurch bewirkt, dass sich die Strömungsrichtungen von erwärmtem Prozessgas und von feuchtebeladener Abluft unterscheiden, und andererseits dadurch, dass sie infolge der erläuterten räumlichen Zuordnung aufeinandertreffen. Die dadurch erzwungene Wechselwirkung zwischen Prozessgasströmung und Abluftströmung führt zu einer Gasverwirbelung in unmittelbarer Nähe zur Substrat-Oberfläche. Diese Gasverwirbelung kann eine Störung, Verkleinerung oder sogar Ablösung der fluidodynamischen laminaren Strömungsgrenzschicht bewirken und damit einhergehend eine Verbesserung des Stofftransports und insbesondere der Abführung von Feuchtigkeit aus dem Substrat bewirken.

**[0053]** Beim erfindungsgemäßen Trocknermodul wird aufgrund dieser Maßnahmen eine schnelle und effektive Trocknung des Substrats bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch erreicht. Zudem kann durch Steuerung der Volumina von Prozessgas und Abluft der Grad der Gasverwirbelung reproduzierbar eingestellt werden und damit auch der Trocknungsgrad.

**[0054]** Zur Unterstützung der Ausbildung von Gasverwirbelungen schließen die Hauptausbreitungsrichtungen von Prozessgas und Abluft im bevorzugten Fall einen Winkel von weniger als 90 Grad ein, und im besonders bevorzugten Fall sind sie gegenläufig gerichtet. Dabei hat es sich als günstig erweisen, wenn das Gasleit-

element und der Absaugkanal einen gemeinsamen Wandabschnitt haben, der in einem Abstand zur Substratebene endet.

**[0055]** An einer Seite des gemeinsamen Wandabschnitts strömt das erwärmte Prozessgas in Richtung auf die Substratebene und auf der anderen Seite des gemeinsamen Wandabschnitts strömt das mit Feuchtigkeit beladene Prozessgas als Abluft von der Substratebene weg. Eine hohe Strömungsgeschwindigkeit der Prozessgasströmung und ein möglichst kleinen freien Abstand des Endes des gemeinsamen Wandabschnitts zur Substratebene tragen dazu bei, dass am Ende des gemeinsamen Wandabschnitts möglichst wenig Prozessgas direkt in den Absaugkanal gelangt. Der besagte freie Abstand zur Substratebene kann beispielsweise weniger als 10 mm betragen.

**[0056]** Im Folgenden wird eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Trocknermoduls näher erläutert, bei dem die zum Zweck einer flächigen Infrarot-Bestrahlung des Substrats eingesetzte Strahlereinheit eine Vielzahl von Infrarotstrahlern umfasst, die jeweils parallel zueinander verlaufende Längsachsen aufweisen.

**[0057]** Bei einer besonders effektiven Ausführungsform dieses Trocknermoduls ist zwischen benachbarten Infrarotstrahlern jeweils ein gemeinsamer Absaugkanal angeordnet.

**[0058]** Infrarotstrahler und Absaugkanal wechseln sich ab. Dadurch ergibt sich eine besondere intensive Gasverwirbelung und trotzdem ein definiertes und reproduzierbares Einwirken der Prozessgasströmung auf das zu trocknende Substrat. Dabei haben Infrarotstrahler mit beiderseits benachbarten Infrarotstrahlern auf jeder ihrer Längsseiten einen Absaugkanal, der jeweils einem der beiden Prozessgasströmungen zugeordnet ist. Die Abluftströmung im Absaugkanal verläuft somit jeweils zwischen zwei Prozessgasströmungen, von denen eine dem einen Infrarotstrahler und die andere dem benachbarten Infrarotstrahler zuzuordnen ist. Die beteiligten Prozessgasströmungen interagieren (wechselwirken) mit der gemeinsamen Abluftströmung und die können vorzugsweise auch miteinander interagieren. Durch die Wechselwirkungen (Interaktionen) der Strömungen miteinander wird in einem gemeinsamen streifenförmigen Bereich der Substrat-Oberfläche eine besonders intensive Gasverwirbelung erzeugt, die die laminare Strömungsgrenzschicht an der Substrat-Oberfläche besonders effektiv stört, verkleinert oder ablöst, so dass ein schnelles Trocknen des Substrats erreicht wird. Die gemeinsame Nutzung eines Absaugkanals durch zwei benachbarte Prozessgasströmungen ermöglicht außerdem eine kompakte Bauform des Infrarotstrahlers.

**[0059]** Randständige Infrarotstrahler haben nur mit dem benachbarten Infrarotstrahler einen Absaugkanal gemeinsam, wobei auf ihrer anderen Längsseite ein separater, eigener Absaugkanal angeordnet ist, oder dort eine andere Absaugung wirkt.

**[0060]** Die Infrarotstrahler-Längsachsen können senk-

recht zur Substrat-Transportrichtung verlaufen und sich dabei beispielsweise über die gesamte Substrat-Breite erstrecken. Bei einigen Anwendungen, beispielsweise bei Druckmaschinen, ist es jedoch gewünscht, dass ein und dieselbe Vorrichtung für die Behandlung von Substraten unterschiedlicher Breite einsetzbar ist. Gegebenenfalls ist Infrarotstrahlung nur über die sogenannte "Formatbreite" erforderlich, die kleiner sein kann, als die gesamte mit Infrarotstrahlern bestückte Ausstattungsbreite der Vorrichtung. Insbesondere im Hinblick darauf hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Infrarotstrahler-Längsachsen in Substrat-Transportrichtung verlaufen oder mit der Substrat-Transportrichtung einen Winkel von weniger als 30 Grad einschließen. Dadurch, dass die Infrarotstrahler in Richtung der Substrat-Transportrichtung angeordnet sind, können randständige Infrarotstrahler der Gesamt-Bestückung nach Bedarf einfach abgeschaltet werden. Um in diesem Fall streifenförmige Inhomogenitäten in Substrat-Transportrichtung zu vermeiden, die sich infolge dieser Anordnung bei der Trocknungswirkung auf dem Substrat einstellen können, ist eine leichte Schrägstellung der Infrarotstrahler-Anordnung in Bezug auf die Transportrichtung vorteilhaft, wobei der Schrägstellungswinkel gering ist und vorteilhafterweise weniger als 30 Winkelgrade beträgt.

**[0061]** Eine andere bevorzugte Ausführungsform des Trocknermoduls zeichnet sich dadurch aus, dass der Prozessraum in einem Infrarot-Trocknermodul ausgebildet ist, das in Transportrichtung gesehen folgende Komponenten aufweist: ein vorderes Luftmesser (Air-Knife), einen mit mehreren parallel zueinander angeordneten Infrarotstrahlern bestückten Bestrahlungsraum, eine Lufttauschereinheit mit integrierter Absaugung und ein hinteres Luftmesser.

**[0062]** Diese Komponenten sind Bestandteil eines Trocknermoduls, das wiederum Bestandteil eines Trocknersystems sein kann, in dem mehrere gleiche oder unterschiedliche Trocknermodule zusammengefasst sind. Die mittels der einzelnen Komponenten ausgeführten Verfahrensschritte werden im Folgenden erläutert. Der Bestrahlungsraum ist mit einem Strahlerfeld aus Infrarotstrahlern bestückt, und darin findet die oben erläuterte Behandlung des Substrats durch Erwärmung und Trocknung unter Einwirkung von Prozessgas, Absaugung und Infrarotstrahlung statt.

**[0063]** Das vordere Luftmesser erzeugt eine intensive, auf die Substrat-Oberfläche in Transportrichtung gerichtete Luftströmung, die die laminare Strömungsgrenzschicht am Substrat durchbricht, Verwirbelungen erzeugt und dadurch die Verdunstung bereits zu Beginn des Trocknungsprozesses begünstigt.

**[0064]** Beim Einbringen des Substrats in den Prozessraum können unerwünschte Substanzen in den Prozessraum eingeschleppt werden, sowohl über die Gasphase als auch mit dem Substrat, wie beispielsweise Substanzen in gasförmiger oder flüssiger Form, die an den Substrat-Oberflächen anhaften.

**[0065]** Um dem entgegen zu wirken, ist bei einer be-

vorzugten Modifikation vorgesehen, dass dem vorderen Luftmesser in Transportrichtung eine Absaugung nachfolgt.

**[0066]** Über diese optionale Absaugung wird ein Teil der Luft und der Komponenten, die mittels des vorderen Luftmessers von der Substrat-Oberfläche entfernt und in die Gasphase überführt worden sind, bereits von Anfang an aus dem Prozessraum entfernt.

**[0067]** Beim Austritt des Substrats aus dem Prozessraum können giftige oder aus anderen Gründen unerwünschte Substanzen in gasförmiger und flüssiger Form den Prozessraum ungefiltert und unkontrolliert verlassen, darunter auch solche Substanzen, die an den Oberflächen des Substrats durch Adsorption oder Absorption haften, oder die innerhalb der Strömungsgrenzschicht immobilisiert sind. Es ist vorteilhaft, den unkontrollierten Austrag solcher Substanzen aus dem Prozessraum möglichst zu vermeiden.

**[0068]** Im Hinblick darauf erzeugt das hintere Luftmesser ebenfalls eine intensive, auf die Substrat-Oberfläche gerichtete Luftströmung, die die laminare Strömungsgrenzschicht am Substrat am Prozessende durchbricht. Das dadurch vor dem Luftmesser angestaute Prozessgas wird durch die in Transportrichtung vorgelagerte Lufttauschereinheit mit integrierter Absaugung kontrolliert abgesaugt und kann über die Prozessraum-Absaugung kontrolliert entsorgt werden.

**[0069]** Die Lufttauschereinheit erzeugt mindestens einen auf die Substrat-Oberfläche gerichteten Luftstrahl und sie verfügt über eine Absaugung, mittels der der Luftstrahl unmittelbar nach seiner Einwirkung auf die Substrat-Oberfläche wieder entfernt wird. Die Lufttauschereinheit besteht beispielsweise aus einer Anordnung abwechselnd angeordneter Gaseinlassdüsen und Absaugkanälen, die sich über die gesamte Substratbreite erstreckt. Sie hat die Aufgabe, die infolge der Einwirkung der Infrarotstrahlung entstandene Feuchtigkeit mittels intensiver Luftverwirbelung mitzunehmen und abzutransportieren.

**[0070]** Das hintere Luftmesser schließt somit den Prozessschritt der des Substrats innerhalb des betreffenden Trocknermoduls ab.

**[0071]** Das vordere und das hintere Luftmesser übernehmen somit am Eingang und am Ausgang des Trocknermoduls zusätzlich die Funktion von Luftvorhängen und dichten somit das IR-Modul pneumatisch ab. Das Zusammenwirken des Bestrahlungsraums mit den beschriebenen weiteren Komponenten vermindert die Gefahr, dass Verunreinigungen und insbesondere von Wasser in den Eintrag in den Prozessraum eingetragen und aus dem Trocknermodul emittiert werden. Dies ermöglicht einen besonders wasserarmen Prozessraum und verbessert und optimiert den Trocknungseffekt.

**[0072]** Hinsichtlich des Trocknersystems zum Trocknen eines in einer Substratebene und in einer Transportrichtung durch einen Prozessraum bewegten Substrats wird die oben genannte technische Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass es mehrere Trocknermodule

gemäß der Erfindung enthält, die in Transportrichtung nebeneinander und/oder hintereinander angeordnet sind.

#### Ausführungsbeispiel

**[0073]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Patentzeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt in schematischer Darstellung im Einzelnen:

**Figur 1** eine Druckmaschine mit einem Druckaggregat und einem Infrarot-Trocknersystem und einem entlang eines Transportwegs und in einer Transportrichtung transportierten Bedruckstoffs,

**Figur 2** ein erfindungsgemäßes Trocknermodul als Teil des Trocknersystems der Druckmaschine von Figur 1 in einem Längsschnitt in Bedruckstoff-Transportrichtung,

**Figur 3** einen Ausschnitt der Bestrahlungseinheit des erfindungsgemäßen Trocknermoduls in einem Schnitt entlang der Linie A-A von Figur 2, und

**Figur 4** einen Ausschnitt der Bestrahlungseinheit in einer Draufsicht auf Strahlereinheiten in Richtung des Pfeils X von Figur 3.

**[0074]** Bei Infrarotstrahlern ist ein Heizfilament aus Carbon oder Wolfram in Wendel- oder Bandform in ein inertgasgefülltes Strahlerrohr eingeschlossen, das meist aus Quarzglas gefertigt ist. Die Heizfilamente sind mit elektrischen Anschlüssen verbunden, die über ein Ende oder beiden Enden des Strahlerrohres eingeführt werden.

**[0075]** **Figur 1** zeigt schematisch eine Druckmaschine in Form einer Rollen-Tintenstrahldruckmaschine, der insgesamt die Bezugsziffer 1 zugeordnet ist. Ausgehend von einem Abwickler 2 gelangt die Materialbahn 3 aus einem Bedruckstoff, wie beispielsweise aus Papier, zu einem Druckaggregat 40. Dieses umfasst mehrere, entlang der Materialbahn 3 hintereinander angeordnete Tintenstrahldruckköpfe 4, durch die auf den Bedruckstoff lösungsmittelhaltige und insbesondere wasserhaltige Druckfarben aufgetragen werden.

**[0076]** In Transportrichtung 5 gesehen, gelangt die Materialbahn 3 vom Druckaggregat 40 über eine Umlenkwalze 6 anschließend zu einem Infrarot-Trocknersystem 70. Dieses ist mit mehreren Trocknermodulen 7 bestückt, die für das Trocknen beziehungsweise Wegschlagen des Lösungsmittels in die Materialbahn ausgelegt sind.

**[0077]** Der weitere Transportweg der Materialbahn 3 geht über eine Zugwalze 8, die mit eigenem Zugantriebsmotor ausgestattet ist und über die die Einstellung der

Bahnspannung erfolgt, zu einer Aufwickelrolle 9.

**[0078]** In dem Trocknersystem 70 sind mehrere - im Ausführungsbeispiel sind es vier-Trocknermodule 7 zusammengefasst. Jedes der Trocknermodule ist mit mehreren Infrarotstrahlern - im Ausführungsbeispiel sind es achtzehn - ausgestattet.

**[0079]** Die Trocknermodule sind im Trocknersystem in Transportrichtung gesehen paarweise neben- und hintereinander angeordnet. Das jeweils nebeneinander angeordnete Paar der Trocknermodule 7 deckt die maximale Formatbreite der Druckmaschine 1 ab. Entsprechend der Abmessungen und Farbbelegung des Bedruckstoffs sind die Trocknermodule 7 und die einzelnen Infrarotstrahler getrennt voneinander elektrisch steuerbar.

**[0080]** Die Transportgeschwindigkeit der Materialbahn 3 wird auf 5 m/s eingestellt. Dabei handelt es sich um eine vergleichsweise hohe Geschwindigkeit, die durch eine Optimierung der einzelnen Bearbeitungsschritte ermöglicht wird, und die insbesondere eine hohe Trocknungsrate erfordert. Das zum Erreichen dieser Anforderung erforderliche Trocknungsverfahren und das dafür eingesetzte Trocknermodul 7 wird im Folgenden anhand der Figuren 2 bis 4 näher erläutert. Sofern in diesen Figuren dieselben Bezugsziffern wie in Figur 1 verwendet sind, so sind damit baugleiche oder äquivalente Bauteile und Bestandteile bezeichnet, wie sie oben anhand der Beschreibung der Druckmaschine näher erläutert sind.

**[0081]** Bei der in **Figur 2** schematisch gezeigten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Trocknermoduls 7 umschließt ein Gehäuse 21 einen Behandlungsraum (=Prozessraum) für den Bedruckstoff 3 mit folgenden Komponenten (in Transportrichtung 5 gesehen): ein vorderes Air-Knife 22 mit Luftleitblech 22a, eine dem vorderen Air Knife 22 unmittelbar nachgeordnete Absaugung 23, eine mit den achtzehn Infrarotstrahlern 24 bestückte Infrarot-Bestrahlungskammer 25, deren Längsachsen 24a etwa in Transportrichtung 5 verlaufen und die parallel zueinander angeordnet sind, eine Lufttauschereinheit 26 mit abwechselnd angeordneten Gaseinlassdüsen und Absaugkanälen (26b, 26a) und ein hinteres Air Knife 22 mit einem abschließenden Luftleitblech 22a.

**[0082]** Die Richtungspfeile 28 deuten eine auf die Oberfläche des Bedruckstoffs 3 gerichtete Luftströmung, und die Richtungspfeile 29 eine vom Bedruckstoff 3 wegführende Luftströmung, sowie eine Wechselwirkung 35 dieser Luftströmungen miteinander an, die anhand Figur 3 erläutert wird. Die in Transportrichtung 5 zunehmende Länge der Richtungspfeile 28; 29 symbolisiert die Zunahme der jeweiligen Strömungsvolumina. Die Oberfläche des Bedruckstoffs 3 entspricht gleichzeitig der Substratebene 3a.

**[0083]** Der in **Figur 3** gezeigte Querschnitt umfasst einen Ausschnitt der Infrarot-Bestrahlungskammer 25 entlang von vier baugleichen Infrarotstrahlereinheiten 30. Der Querschnitt zeigt einen einen Absaugraum 31, einen

Gaszuführungsraum 32 und den eigentlichen Infrarot-Behandlungsraum 33.

**[0084]** Der Gaszuführungsraum 32 ist mit einem Gaseinlass 36 verbunden und setzt sich aus mehreren Gassammelräumen 32a zusammen, die über Leitungen 32b fluidisch miteinander verbunden sind. Jede Strahlereinheit 30 verfügt über einen Gassammelraum 32a. Jeder Gassammelraum 32a ist mit einer mittig verlaufenden, länglichen Öffnung 37 zum Substrat-Behandlungsraum 33 versehen. Die länglichen Öffnung 37 hat die Form eines sich in Substrat-Transportrichtung 5 (senkrecht zur Papierebene) erstreckenden Längsschlitzes, der an beiden Längsseiten von Gasleitelementen 38a; 38b begrenzt ist. In dem in Figur 3 gezeigten Querschnitt überwölben die Gasleitelemente 38a; 38b den Infrarotstrahler 24 glockenartig und werden im Folgenden zusammen auch als "Luftleitglocke 38" bezeichnet. Die Luftleitglocke 38 endet in einem Abstand von etwa 10 mm vor der Oberfläche des Bedruckstoffs 3 (der Substratebene 3a).

**[0085]** Der Absaugraum 31 hat einen Gasauslass 34, der mit einem (in der Figur nicht gezeigten) Ventilator verbunden ist. In den Absaugraum 31 münden spaltförmige Absaugkanäle 39, die zwischen benachbarten IR-Strahlereinheiten 30 verlaufen und die jeweils mit den Luftleitelementen 38a beziehungsweise 38b vor der Substratebene 3a enden.

**[0086]** Die im Substrat-Behandlungsraum 33 angeordneten Infrarotstrahler 24 sind als handelsübliche Zwillingrohrstrahler ausgebildet. Sie bestehen aus einem im Querschnitt achtförmigen Hüllkolben aus Quarzglas, der zwei Teilräume umschließt, die durch einen Mittelsteg voneinander getrennt sind. Ihre Nominal-Leistung beträgt 3.500 W. Die Gesamtstrahlerlänge beträgt 70 cm und die Außenabmessungen des Hüllkolbens betragen 34 x 14 mm.

**[0087]** Aus der Draufsicht auf die Strahlereinheiten 30 von **Figur 4** sind die Öffnung 37 für die Kühlluft in den Behandlungsraum 33 und dahinter die Infrarotstrahler 24 erkennbar. Die Öffnungsweite der länglichen Öffnung 37 erweitert sich in Transportrichtung 5 kontinuierlich. Die Weite der Absaugkanäle 39 bleibt hingegen in Transportrichtung 5 konstant. Die Transportrichtung 5 schließt mit den Längsseiten der Absaugkanäle 39, beziehungsweise mit den Längsachsen der (in der Figur nicht sichtbaren) Infrarotstrahler 24 einen Winkel von 10 Grad ein.

**[0088]** Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren beispielhaft anhand der Figuren 1 bis 4 näher erläutert:

Die Komponenten des Trocknermoduls 7 von Figur 2 haben folgende Funktionen und Wirkungen.

**[0089]** Das vordere Air Knife 22 erzeugt unter Mithilfe des Leitblechs 22a eine intensive, auf die Bedruckstoff-Oberfläche 3a in Transportrichtung 5 gerichtete Luftströmung 22b, die die laminare Strömungsgrenzschicht am Bedruckstoff 3 durchbricht, Verwirbelungen erzeugt und dadurch die Verdunstung bereits zu Beginn des Trocknungsprozesses begünstigt. Über die dem vorderen Air Knife 22 in Transportrichtung nachgeordnete Absaugung

wird ein Teil der Luft und der Komponenten, die mittels des vorderen Air Knifes 22 aufgewirbelt worden sind, aus dem Trocknermodul 7 abgesaugt.

**[0090]** Damit beim Austritt des Bedruckstoffs 3 aus dem Trocknermodul 7 möglichst keine giftigen oder aus anderen Gründen unerwünschten Substanzen in gasförmiger und flüssiger Form den Prozessraum ungefiltert und unkontrolliert verlassen, erzeugt das hintere Air Knife 27 unter Mithilfe des Leitblechs 27a ebenfalls eine intensive, auf die Bedruckstoff-Oberfläche 3a gerichtete Luftströmung, die die laminare Strömungsgrenzschicht am Bedruckstoff 3 durchbricht. Das dadurch vor dem Air Knife 27 angestaute Prozessgas 27b wird durch die in Transportrichtung vorgelagerte Lufttauschereinheit 26 entfernt. Zu diesem Zweck werden mittels der Lufttauschereinheit 26 mehrere quer zur Transportrichtung 5 verlaufende Luftvorhänge 26a erzeugt. Mittels sich abwechselnder Gaseinlassdüsen und Absaugkanäle wird bei jedem Luftvorhang 26a ein auf die Bedruckstoff-Oberfläche 3a gerichteter Zuluftstrom 26b erzeugt und dieser unmittelbar nach dem Auftreffen auf den Bedruckstoff über einen Abluftstrom 26c wieder abgezogen. Die Lufttauschereinheit 26 kann die infolge der Einwirkung der Infrarotstrahlung entstandene Feuchtigkeit mittels intensiver Luftverwirbelung mitnehmen und über ihre integrierte Absaugung entfernen, so dass unerwünschte Komponenten das Trocknermodul 7 nicht kontrolliert verlassen können.

**[0091]** Die Behandlung des Bedruckstoffs 3 in der Infrarot-Bestrahlungskammer 25 umfasst ein Erhitzen mittels Infrarotstrahlung bei gleichzeitiger Beaufschlagung mit trockener Luft. Damit beide Behandlungen möglichst effektiv auf den Bedruckstoff 3 einwirken, wird die aus dem Gaszuführungsraum 32 durch die längliche Öffnung in den Behandlungsraum 33 einströmende Kühlluft in zwei Prozessgasströmungen 28 geteilt, die zum Infrarotstrahler 24 und um dessen Hüllkolben teilweise herum geführt werden. Dabei wird der Infrarotstrahler 24 gekühlt und gleichzeitig wird die Kühlluft erwärmt.

**[0092]** Zwischen der Wandung des Infrarotstrahlers 24 und der Luftleitglocke 38 ergibt sich ein enger Spalt, der die beiden Luftströmungen 28 in Richtung auf den Bedruckstoff 3 beschleunigt, so dass sie auf diesen intensiv einwirken und Feuchtigkeit in die Gasphase überführen oder aufnehmen. Infolge ihrer Erwärmung ist die Aufnahmefähigkeit der Kühlluft für Feuchtigkeit erhöht.

**[0093]** Jeder auf den Bedruckstoff 3 gerichteten Luftströmung 28 ist eine vom Bedruckstoff wegführende Abluftströmung 29 räumlich zugeordnet, indem die Richtungen von einströmendem Luftstrom 28 und angesaugtem Luftstrom 29 nahezu gegenläufig gerichtet sind (sie schließen im Ausführungsbeispiel einen Winkel von weniger als 30 Grad miteinander ein) und in einer Wechselwirkungszone 35 aufeinandertreffen, wobei die Wechselwirkungszone 35 an der Oberfläche des Bedruckstoffs 3 liegt. Jede der beiden Luftströmungen 28 trifft daher auf der Bedruckstoff-Oberfläche mit einer Abluftströmung 29 zusammen. Die dadurch erzwungene

Wechselwirkung zwischen Luftströmung 28 und Abluftströmung 29 führt zu einer Gasverwirbelung in der Wechselwirkungszone 35, also in unmittelbarer Nähe zur Bedruckstoff-Oberfläche, die eine Störung, Verkleinerung oder sogar Ablösung der fluiddynamischen laminaren Strömungsgrenzschicht bewirken und damit einhergehend eine Verbesserung des Stofftransports und insbesondere der Abführung von Feuchtigkeit aus dem Bedruckstoff 3 bewirken kann.

**[0094]** Eine Abluftströmung 29 verläuft jeweils zwischen zwei Luftströmungen 28, von denen eine dem einen Infrarotstrahler 24 und die andere dem benachbarten Infrarotstrahler 24 zuzuordnen ist. Wie Figur 3 zeigt, ergibt sich zwischen benachbarten Infrarotstrahlern 24 die Strömungsabfolge: Luftströmung 28 - Abluftströmung 29 - Luftströmung 28. Diese Luftströmungen 28 interagieren (wechselwirken) mit der gemeinsamen Abluftströmung 29 und die können vorzugsweise auch miteinander interagieren, und zwar auf einem gemeinsamen streifenförmigen Bereich 36 an der Bedruckstoff-Oberfläche. Die Wechselwirkungen (Interaktionen) der Strömungen 28, 29, 28 miteinander erzeugen in dem gemeinsamen streifenförmigen Wechselwirkungsbereich 35 der Substrat-Oberfläche eine besonders intensive Gasverwirbelung die die laminare Strömungsgrenzschicht an der Bedruckstoff-Oberfläche besonders effektiv stört, verkleinert oder ablöst, so dass ein schnelles Trocknen erreicht wird. Die gemeinsame Nutzung einer Abluftströmung 29 von zwei benachbarten Luftströmungen 28 ermöglicht eine räumlich enge Anordnung der Infrarotstrahler 24 des Strahlerfeldes und damit ein effektives Trocknen bei gleichzeitig kompakter Bauweise.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum mindestens teilweisen Trocknen eines Substrats, (3) umfassend die Verfahrensschritte:

(a) Emittieren von Infrarotstrahlung in Richtung auf ein durch einen Prozessraum entlang eines Transportwegs und in einer Transportrichtung bewegten Substrats mittels einer Strahlereinheit, die mindestens einen Infrarotstrahler (24) umfasst,

(b) Erzeugen mindestens zweier auf das Substrat gerichteter Prozessgasströmungen eines Prozessgases,

(c) mindestens teilweises Trocknen des Substrats durch Einwirkung von Infrarotstrahlung und Prozessgas auf das Substrat, und Absaugen von feuchtebeladenem Prozessgas über einen Absaugkanal aus dem Prozessraum unter Bildung einer von dem Substrat wegführenden Abluftströmung, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens zwei Prozessgasströmungen (28) an den Infrarotstrahler (24) geführt werden,

bevor sie auf das Substrat einwirken, und dass jeder auf das Substrat gerichteten Prozessgasströmung eine vom Substrat wegführende Abluftströmung räumlich zugeordnet und benachbart ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein eine Längsachse aufweisender Infrarotstrahler eingesetzt wird, und dass der Infrarotstrahler beidseitig seiner Längsachse von je einer der beiden Prozessgasströmungen angeströmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens zwei Prozessgasströmungen streifenförmig auf das zu trocknende Substrat einwirken, und dass den streifenförmigen Prozessgasströmungen bevorzugt jeweils eine streifenförmige Abluftströmung räumlich zugeordnet ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Zweck einer flächigen Infrarot-Bestrahlung des Substrats eine Strahlereinheit eingesetzt wird, die eine Vielzahl von Infrarotstrahlern umfasst, die jeweils parallel zueinander verlaufende Längsachsen aufweisen, wobei bevorzugt um jede der Infrarotstrahler-Längsachsen eine auf das Substrat gerichtete Prozessgasströmung geführt wird, wobei benachbarte Prozessgasströmungen benachbarter Infrarotstrahler einer gemeinsamen Abluftströmung räumlich zugeordnet sind.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Infrarotstrahler-Längsachsen in Substrat-Transportrichtung verlaufen oder mit der Substrat-Transportrichtung einen Winkel von weniger als 30 Grad einschließen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Prozessraum in einem Infrarot-Trocknermodul ausgebildet ist, das in Transportrichtung des Substrats gesehen eine Kombination folgender Komponenten aufweist: ein vorderes Luftmesser (Air-Knife), einen mit mehreren parallel zueinander angeordneten Infrarotstrahlern bestückten Bestrahlungsraum, eine Lufttauscher-einheit mit integrierter Absaugung und ein hinteres Luftmesser, wobei bevorzugt dem vorderen Luftmesser in Transportrichtung eine Absaugung nachfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Prozessgasströmung eine Volumencharakteristik aufgeprägt wird, die in Substrat-Transportrichtung mindestens über eine Teillänge der Infrarotstrahlerlänge zunimmt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels einer Prozessgasmengensteuerung das in das Trocknermodul eingeleitete Gasvolumen  $V_{in}$  kleiner eingestellt wird als das aus dem Trocknermodul abgegaugte Gasvolumen  $V_{out}$ .
9. Infrarot-Trocknermodul zum Trocknen eines in einer Substratebene und in einer Transportrichtung durch einen Prozessraum bewegten Substrats, umfassend
- (a) eine Strahlereinheit, die mindestens einen eine Längsachse aufweisenden Infrarotstrahler (24) zur Emission von Infrarotstrahlung auf die Substratebene umfasst,
- (b) eine Prozessgas-Zuführungseinheit mit einem Prozessgas-Sammelraum, der mindestens eine Einlassöffnung für die Einleitung von Prozessgas (27b) aus dem Prozessgas-Sammelraum in den Prozessraum aufweist, wobei an die Einlassöffnung ein Gasleitelement angrenzt, das sich in Richtung der Substratebene erstreckt,
- (c) eine Ablufteinheit mit mindestens einem Absaugkanal für die Ableitung von feuchtebeladenem Prozessgas aus dem Prozessraum, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Infrarotstrahler in Bezug auf die Einlassöffnung so angeordnet ist, dass er mit dem Gasleitelement beiderseits seiner Längsachse jeweils einen Einlasskanal für das Prozessgas bildet, und wobei jedem Prozessgas-Einlasskanal mindestens ein Prozessgas-Absaugkanal benachbart ist.
10. Trocknermodul nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gasleitelement und der Absaugkanal einen gemeinsamen Wandabschnitt haben, der in einem Abstand zur Substratebene endet.
11. Trocknermodul nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strahlereinheit eine Vielzahl von Infrarotstrahlern umfasst, die jeweils parallel zueinander verlaufende Längsachsen aufweisen, wobei bevorzugt zwischen benachbarten Infrarotstrahlern ein gemeinsamer Absaugkanal angeordnet ist.
12. Trocknermodul nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Infrarotstrahler-Längsachsen in Substrat-Transportrichtung verlaufen oder mit der Substrat-Transportrichtung einen Winkel von weniger als 30 Grad einschließen.
13. Trocknermodul nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Prozessraum in Transportrichtung gesehen folgende Komponenten aufweist: ein vorderes Luftmesser (Air-Knife), einen mit mehreren parallel zueinander angeordneten Infrarotstrahlern bestückten Bestrahlungsraum, eine Lufttauschereinheit mit integrierter Absaugung und ein hinteres Luftmesser, wobei bevorzugt dem vorderen Luftmesser in Transportrichtung eine Absaugung nachfolgt.
14. Trocknermodul nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Prozessgasströmung eine Volumencharakteristik aufgeprägt wird, die in Substrat-Transportrichtung mindestens über eine Teillänge der Infrarotstrahlerlänge zunimmt.
15. Trocknersystem zum Trocknen eines in einer Substratebene und in einer Transportrichtung durch einen Prozessraum bewegten Substrats, das mehrere Trocknermodule nach einem der Ansprüche 11 bis 14 enthält, die in Transportrichtung nebeneinander und/oder hintereinander angeordnet sind.

### Claims

1. A method for at least partially drying a substrate (3), comprising the steps of:
- (a) emitting infrared radiation towards a substrate that moves through a process space along a transport path and in a transport direction, by using an emitter unit comprising at least one infrared emitter (24),
- (b) generating at least two process gas streams of a process gas directed towards the substrate,
- (c) at least partially drying of the substrate by the action of infrared radiation and process gas on the substrate, and extracting moisture-laden process gas out of the process space via an extraction duct, forming an exhaust air stream leading away from the substrate, **characterized in that** the at least two process gas streams (28) are directed to the infrared emitter (24) before they act on the substrate, and **in that** each process gas stream directed towards the substrate is spatially associated with and adjacent to an exhaust air stream leading away from the substrate.
2. The method according to claim 1, wherein the infrared emitter has a longitudinal axis and one of the two process gas streams flows over the infrared emitter on each side of its longitudinal axis.
3. The method according to claim 1 or 2, wherein the at least two process gas streams act on the substrate to be dried in a strip-shaped manner, and in that a strip-shaped exhaust air stream is preferably spatially assigned to each of the strip-shaped process

gas streams.

4. The method according to one of the preceding claims, wherein for the purpose of a planar infrared irradiation of the substrate, the emitter unit comprises a plurality of infrared emitters having longitudinal axes running parallel to each other in each case, wherein preferably a process gas stream directed towards the substrate is guided around each of the longitudinal axes of each of the infrared emitters, and wherein adjacent process gas streams of adjacent infrared emitters are spatially assigned to a common exhaust air stream.
5. The method according to claim 4, wherein the infrared emitters' longitudinal axes run in the substrate transport direction or form an angle of less than 30 degrees with the substrate transport direction.
6. The method according to one of claims 4 or 5, wherein the process space is formed in an infrared dryer module having a combination of the following components, viewed in the transport direction of the substrate: a front air knife, an irradiation space fitted with the plurality of infrared emitters arranged parallel to each other, an air exchanger unit with an integrated extraction mechanism and a rear air knife, wherein preferably the front air knife is followed in the transport direction by an additional extraction mechanism.
7. The method according to one of claims 4 to 6, wherein the method further comprises imposing a volume characteristic on the process gas stream, which increases in the substrate transport direction at least over a partial length of the infrared emitter length.
8. The method according to one of the preceding claims, wherein the method further comprising the step of adjusting by way of a process gas quantity control unit, the gas volume  $V_{in}$  introduced into the dryer module to be smaller than the gas volume  $V_{out}$  extracted out of the dryer module.
9. An infrared dryer module for drying a substrate that moves through a process space in a substrate plane and in a transport direction, the dryer module comprising
  - (a) an emitter unit, comprising at least one infrared emitter (24) having a longitudinal axis and emitting infrared radiation towards the substrate plane,
  - (b) a process gas supply unit with a process gas collection space having at least one inlet opening for the introduction of process gas (27b) from the process gas collection space into the process space, and with a gas guiding element which extends in the direction of the substrate plane,
  - and borders the inlet opening,
  - (c) an exhaust air unit with at least one extraction duct for discharging moisture-laden process gas from the process space,
  - wherein the infrared emitter is arranged in relation to the inlet opening such that, together with the gas guiding element, it forms an inlet channel for the process gas on each side of its longitudinal axis, and wherein at least one process gas extraction duct is adjacent to each process gas inlet channel.
10. The dryer module according to claim 9, wherein the gas guiding element and the extraction duct have a common wall section, which ends at a distance from the substrate plane.
11. The dryer module according to claim 9 or 10, wherein the emitter unit comprises a plurality of infrared emitters, which have longitudinal axes running parallel to each other in each case, wherein preferably a common extraction duct is arranged between adjacent infrared emitters.
12. The dryer module according to claim 11, wherein the infrared emitters' longitudinal axes run in the substrate transport direction or form an angle of less than 30 degrees with the substrate transport direction.
13. The dryer module according to one of claims 11 or 12, wherein the process space has the following components, viewed in the transport direction: a front air knife, an irradiation space fitted with multiple infrared emitters arranged parallel to each other, an air exchanger unit with an integrated extraction mechanism and a rear air knife, wherein preferably the front air knife is followed in the transport direction by an extraction mechanism.
14. The dryer module according to one of claims 11 to 13, wherein a volume characteristic is imposed on the process gas stream, which increases in the substrate transport direction at least partially over the length of the infrared emitter.
15. A dryer system for drying a substrate moving through a process space in a substrate plane and in a transport direction, containing multiple dryer modules according to one of claims 11 to 14 which are arranged next to one another and/or one behind another in the transport direction.

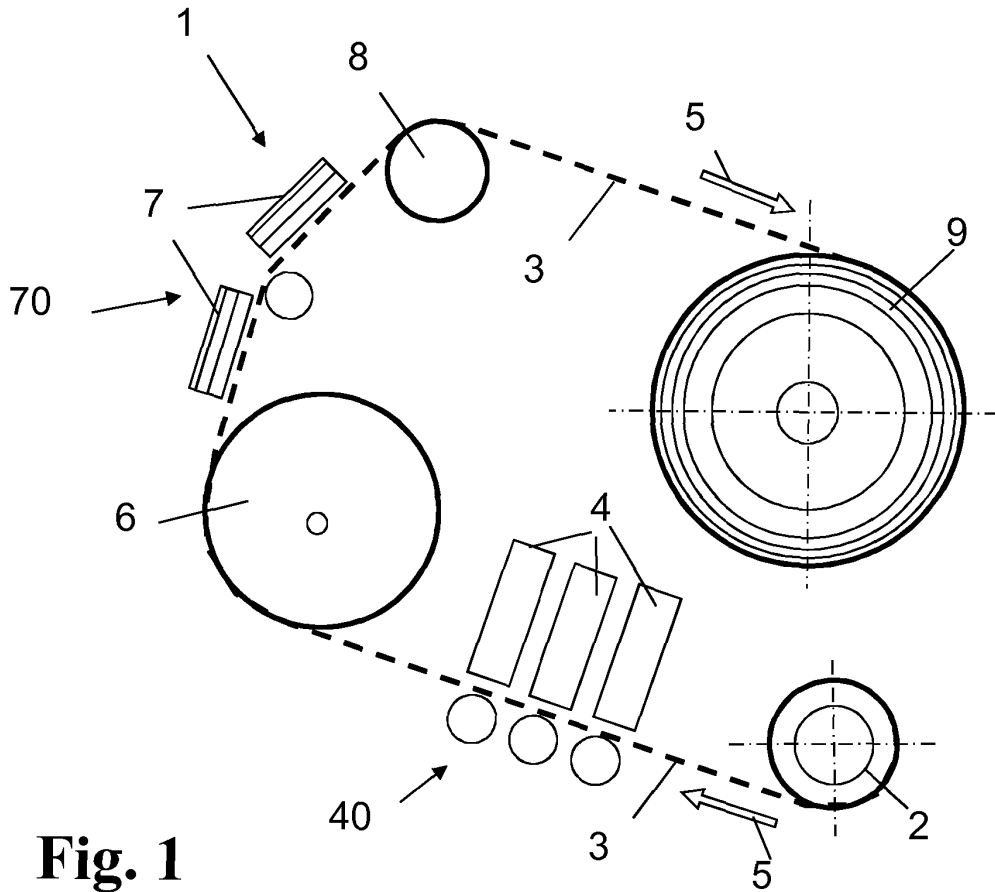
## 55 Revendications

1. Procédé de séchage au moins partiel d'un substrat (3), comprenant les étapes de procédé :

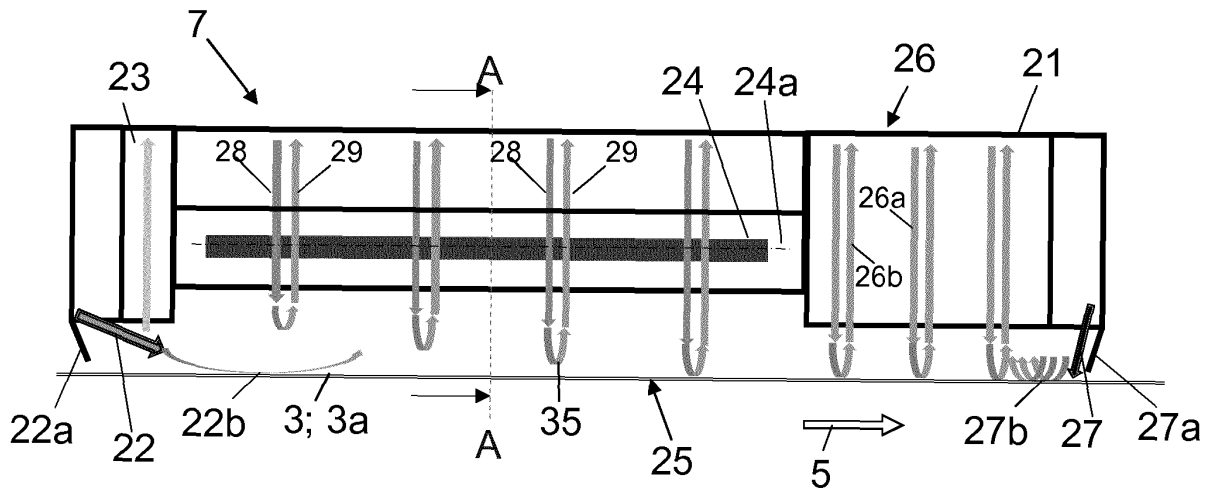
- (a) d'émission d'un rayonnement infrarouge en direction d'un substrat déplacé à travers un espace de processus le long d'un trajet de transport et dans une direction de transport au moyen d'une unité émettrice de rayons, qui comprend au moins un émetteur de rayons infrarouges (24),
- (b) de génération d'au moins deux flux de gaz de processus, dirigés sur le substrat, d'un gaz de processus,
- (c) de séchage au moins partiel du substrat par l'action d'un rayonnement infrarouge et d'un gaz de processus sur le substrat, et d'évacuation par aspiration de gaz de processus chargé en humidité par l'intermédiaire d'un canal d'évacuation par aspiration hors de l'espace de processus en formant un flux d'air sortant s'éloignant du substrat,
- caractérisé en ce que** les au moins deux flux de gaz de processus (28) sont guidés à l'émetteur de rayons infrarouges (24) avant qu'ils n'agissent sur le substrat, et qu'un flux d'air sortant s'éloignant du substrat est associé spatialement et est adjacent à chaque flux de gaz de processus dirigé sur le substrat.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**un émetteur de rayons infrarouges présentant un axe longitudinal est utilisé, et que l'émetteur de rayons infrarouges est balayé de part et d'autre de son axe longitudinal par respectivement un des deux flux de gaz de processus.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les au moins deux flux de gaz de processus agissent en forme de bande sur le substrat à sécher, et que respectivement un flux d'air sortant en forme de bande est associé spatialement de manière préférée aux flux de gaz de processus en forme de bande.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**est employée, aux fins d'une exposition à un rayonnement infrarouge à plat du substrat, une unité émettrice de rayons, qui comprend une pluralité d'émetteurs de rayons infrarouges qui présentent des axes longitudinaux s'étendant respectivement de manière parallèle les uns par rapport aux autres, dans lequel un flux de gaz de processus dirigé sur le substrat est guidé de manière préférée autour de chacun des axes longitudinaux d'émetteur de rayons infrarouges, dans lequel des flux de gaz de processus adjacents d'émetteurs de rayons infrarouges adjacents sont associés spatialement à un flux d'air sortant commun.
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les axes longitudinaux d'émetteurs de rayons infrarouges s'étendent dans la direction de transport de substrat ou forment avec la direction de transport de substrat un angle inférieur à 30 degrés.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, **caractérisé en ce que** l'espace de processus est réalisé dans un module sécheur à rayons infrarouges, qui présente, vu dans la direction de transport du substrat, une combinaison de composants suivants : une lame d'air avant (Air-Knife), un espace d'exposition à un rayonnement équipé de plusieurs émetteurs de rayons infrarouges disposés de manière parallèle les uns par rapport aux autres, une unité d'échange d'air avec une évacuation par aspiration intégrée et une lame d'air arrière, dans lequel une évacuation par aspiration suit de manière préférée la lame d'air avant dans la direction de transport.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce qu'**est imprimée sur le flux de gaz de processus une caractéristique de volume, qui augmente dans la direction de transport de substrat au moins sur une longueur partielle de la longueur d'émetteur de rayons infrarouges.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le volume de gaz introduit dans le module sécheur  $V_{in}$  est réglé au moyen d'une commande de quantité de gaz de processus de manière à être inférieur au volume de gaz évacué par aspiration hors du module sécheur  $V_{out}$ .
9. Module sécheur à rayons infrarouges pour sécher un substrat déplacé dans un plan de substrat et dans une direction de transport à travers un espace de processus, comprenant
- (a) une unité émettrice de rayons, qui comprend au moins un émetteur de rayons infrarouges (24) présentant un axe longitudinal pour l'émission d'un rayonnement infrarouge sur le plan de substrat,
- (b) une unité d'amenée de gaz de processus avec un espace de collecte de gaz de processus, qui présente au moins une ouverture d'entrée pour l'introduction de gaz de processus (27b) depuis l'espace de collecte de gaz de processus dans l'espace de processus, dans lequel un élément d'acheminement de gaz qui s'étend en direction du plan de substrat jouxte l'ouverture d'entrée,
- (c) une unité d'air sortant avec au moins un canal d'évacuation par aspiration pour l'évacuation de gaz de processus chargé en humidité hors de

- l'espace de processus,  
**caractérisé en ce que** l'émetteur de rayons infrarouges est disposé par rapport à l'ouverture d'entrée de telle sorte qu'il forme avec l'élément d'acheminement de gaz de part et d'autre de son axe longitudinal respectivement un canal d'entrée pour le gaz de processus, et dans lequel au moins un canal d'évacuation par aspiration de gaz de processus est adjacent à chaque canal d'entrée de gaz de processus. 5 10
10. Module sécheur selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'élément d'acheminement de gaz et le canal d'évacuation par aspiration ont une section de paroi commune, qui se termine à une distance par rapport au plan de substrat. 15
11. Module sécheur selon la revendication 9 ou 10, **caractérisé en ce que** l'unité émettrice de rayons comprend une pluralité d'émetteurs de rayons infrarouges, qui présentent des axes longitudinaux s'étendant respectivement de manière parallèle les uns par rapport aux autres, dans lequel un canal d'évacuation par aspiration commun est disposé de manière préférée entre des émetteurs de rayons infrarouges adjacents. 20 25
12. Module sécheur selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les axes longitudinaux d'émetteurs de rayons infrarouges s'étendent dans la direction de transport de substrat ou forment avec la direction de transport de substrat un angle inférieur à 30 degrés. 30
13. Module sécheur selon l'une quelconque des revendications 11 ou 12, **caractérisé en ce que** l'espace de processus présente des composants suivants vus dans la direction de transport : une lame d'air avant (Air-Knife), un espace d'exposition à un rayonnement équipé de plusieurs émetteurs de rayons infrarouges disposés de manière parallèle les uns par rapport aux autres, une unité d'échange d'air avec une évacuation par aspiration intégrée et une lame d'air arrière, dans lequel une évacuation par aspiration suit de manière préférée la lame d'air avant dans la direction de transport. 35 40 45
14. Module sécheur selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, **caractérisé en ce qu'**est imprimée sur le flux de gaz de processus une caractéristique de volume, qui augmente dans la direction de transport de substrat au moins sur une longueur partielle de la longueur d'émetteur de rayons infrarouges. 50 55
15. Système sécheur pour sécher un substrat déplacé dans un plan de substrat et dans une direction de transport à travers un espace de processus, qui con-

tient plusieurs modules sécheurs selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, qui sont disposés côte à côte et/ou les uns derrière les autres dans la direction de transport.



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102010046756 A1 **[0006]**
- EP 3363635 A1 **[0010]**